

## エンジニアリングウッド性能評価

この研究は集成材等のいわゆる「エンジニアリングウッド」の信頼性向上を目的としている。

この課題は(財)日本住宅・木材技術センターとの共同研究「エンジニアリングウッド性能評価」として、平成6年度から10年度の5ヶ年で実施したものである。

研究の主な内容はカラマツラミナの性能評価と構造用集成材の性能評価であるが、平成9年度までの主な成果は既に長野県林業総合センター研究報告第13号(1998)「長野県産カラマツ構造材の強度特性に関する研究」の4～8章に掲載されている。

そこで、この報告にはスギラミナの強度試験結果とカラマツラミナおよびカラマツ集成材に関して平成10年度に実施した試験結果を掲載した。

構成は次の通りである。

|   |                                                           |    |
|---|-----------------------------------------------------------|----|
| 1 | スギラミナの曲げ及び引張試験                                            | 40 |
| 2 | フィンガージョイント(FJ)ラミナの強度性能の改善<br>—フィンガー形状の改良およびFJ分散幅はぎラミナの検討— | 48 |
| 3 | カラマツ構造用集成材の材端部横圧縮試験                                       | 59 |

## 1 スギラミナの曲げ及び引張試験

木材部 橋爪丈夫、吉田孝久

### 1.1 緒言

従来、構造用集成材ラミナの強度性能評価は曲げ試験の結果からなされてきたが、1996年1月に制定された「構造用集成材の日本農林規格」(以下規格と記す)<sup>1)</sup> および「構造用集成材の適正製造基準」(以下製造基準と記す)<sup>2)</sup> では、ラミナの強度性能評価を曲げあるいは引張試験による強度値の平均値と5%下限値で行うよう規定している。規格におけるラミナの曲げ強さ(以下MORと記す)と引張強さ(以下TSと記す)の基準強度値は、MORに対するTSの比(以下TS/MORと記す)を0.6として組み立てられている。また、規格における平均値と5%下限値との関係は同一等級に区分されたラミナのMOR、TSの変動係数がそれぞれ15%程度のとときあてはまる。

ラミナのMORとTSとの関係については、幾つかの報告<sup>3)</sup> があるがTS/MOR、あるいはTSおよびMORのばらつきについて、等級区分されたラミナにまで踏み込んだ報告はカラマツ<sup>4)</sup>、スプルー<sup>5)</sup> についてなされているだけである。

また、小松<sup>6)</sup>、平嶋ら<sup>7)</sup> は集成材の強度予測をモンテカルロシミュレーションで行い、ラミナのTSとMORの2次の複合モデルが実験値とよく一致することを示しており、この場合、ラミナのTS、MOR、およびTS/MORが強度予測のための重要な因子となる。

また、縦継ぎラミナ(以下FJラミナと記す)の強さと通しラミナ(以下NJラミナと記す)の強さの比(以下接合効率と記す)はMORで評価した場合とTSで評価した場合では異なることが予想されるが、それぞれ単独で評価した報告がほとんどで、同一工程で製造したFJラミナの接合効率を両方で評価した報告<sup>4)</sup> は少ない。

そこで、本報告では、まず、NJラミナおよび同一工程で製造したFJラミナの曲げ試験および引張り試験の結果から、FJラミナの強度特性をNJラミナのそれとの比較で検討した。つぎに、

等級区分したラミナのTSおよびMORと規格<sup>1)</sup> における基準値との関係を検討し、さらに、ラミナの等級とTSおよびMORの変動係数との関係、および等級とTS/MORとの関係を検討した。

### 1.2 試験の方法

#### 1.2.1 ラミナの調整

連続送り式グレーディングマシンによって機械的に等級区分されたスギラミナ(3.6×18×365 cm)の中からヤング係数の分布幅が大きくなるように200枚を得て供試材とした。すなわち、L50、L60、L70、L80、L90の5グループから各40枚のラミナを得た。

各ラミナを1/2に切断し、400枚の約1.8mラミナとしてから縦振動ヤング係数(以下E<sub>f</sub>と記す)を常法により測定した。これらのラミナをそのヤング係数によって順位化し、順番にNJラミナ曲げ用、NJラミナ引張用、FJラミナ曲げ用、FJラミナ引張用と1枚ずつ割り付け、各100枚ずつのグループとした。NJラミナ用は、モルダにより3.0×14.9cmの断面に仕上げた。FJラミナ用はE<sub>f</sub>の順に接合し、接合部の中間点で切断し、約1.8mのFJラミナとし、NJラミナと同じ断面寸法に仕上げた。

#### 1.2.2 ラミナの調査と区分

仕上げたラミナに対して次の項目を調査した。

- (1) 密度(以下 $\rho$ と記す)：仕上げたラミナの寸法と重量から求めた。
- (2) 年輪幅(以下ARWと記す)：強度試験終了材から試験片を採取し、それにより測定した。FJラミナについてはFJをはさんだ左右2枚の平均値とした。
- (3) 曲げ試験用ラミナは中央加力点間、および全スパンに対して、引張試験用はチャック間および全長に対して、集中節径を測定し、製造基準<sup>2)</sup> に従い、集中節径比(%)に換算した。
- (4) 曲げヤング係数(以下MOEと記す)：引張

試験用ラミナについて材料試験機TCM-5000（ミネベア製）を用い、図1-1に示した条件で非破壊曲げ試験を行い、MOEを求めた。

(5) 縦振動ヤング係数（以下E<sub>f</sub>と記す）：FFTアナライザを用い打撃法により求めた基本振動数とラミナの比重から算出した。

ラミナの機械等級区分はMOEによって行い、次の通りL50からL100までに区分した。

L50:  $50 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 60 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

L60:  $60 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 70 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

L70:  $70 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

L80:  $80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 90 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

L100:  $100 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 110 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

L90:  $90 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MOE} < 100 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

目視等級区分は、全長の集中節径比と年輪幅だけで、次の基準で行った。

G1: 集中節径比  $\leq 20\%$ ; ARW  $\leq 6\text{mm}$

G2:  $20\% < \text{集中節径比} \leq 30\%$ ; ARW  $\leq 6\text{mm}$

G3:  $30\% < \text{集中節径比} \leq 40\%$

G4:  $40\% < \text{集中節径比} \leq 50\%$

G5:  $50\% < \text{集中節径比}$

### 1.2.3 ラミナの強度試験

ラミナの曲げ試験は材料試験機TCM-5000（ミネベア製）を用い、図1-1に示したスパン条件で、クロスヘッド速さ5mm/minで行った。破壊荷重からMORを計算し、比例域内における荷重とたわみの関係からMOEを計算した。

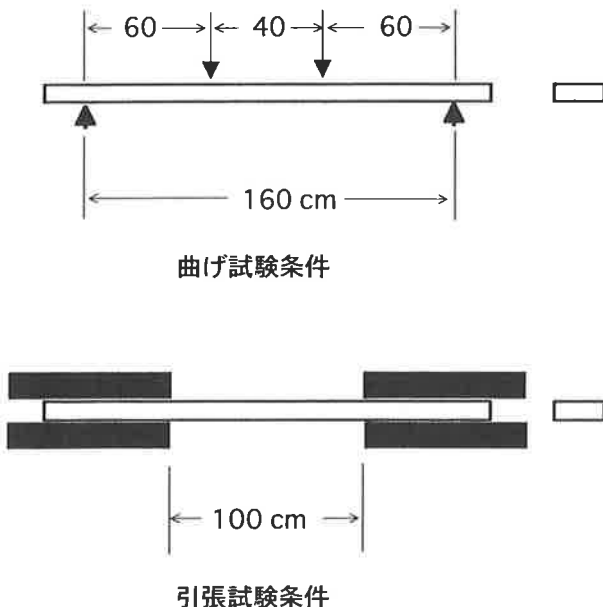


図1-1 ラミナの曲げ試験および引張試験

ラミナの引張試験は曲げ試験と同一条件の非破壊検査によってMOEを測定した後、引張試験を行った。試験機はNET-501E（飯田工業製）を用い、図1-1に示したようにグリップ間隔約100cmで行い破壊荷重からTSを計算した。

### 1.3 結果と考察

#### 1.3.1 破壊に関係したと判断された因子の比率

ラミナの曲げ、引張りの各試験において破壊に関係したと判断された因子の比率を、節、目切れ、接合部、およびその他に分けて図1-2に示した。これらの因子の中で2以上の因子が破壊に関係したと判断されるものについては、図の左側の因子を優先した。

NJラミナでは、節が破壊と関係したと認められたものは曲げで80%、引張りで92.6%であり、特に引張りにおいて大きかった。FJラミナでは、接合部での破壊が曲げで85%と支配的であるのに対して引張りでは65%であった。なお、FJラミ

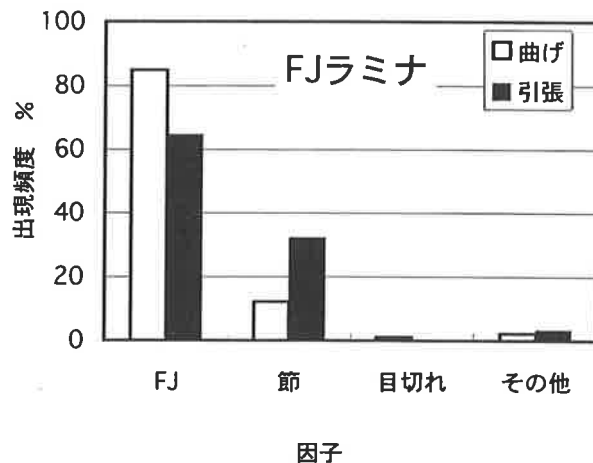
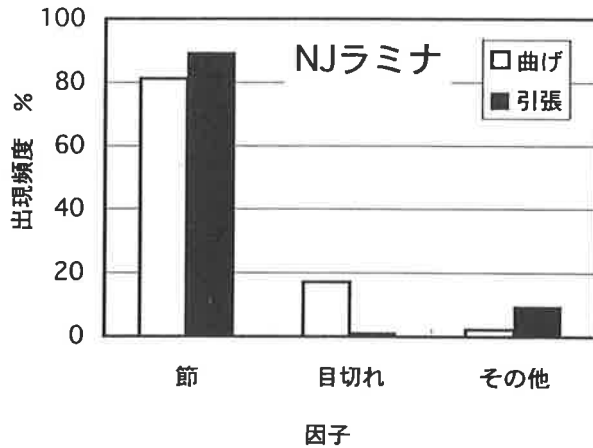


図1-2 破壊に関係したと判断された因子の比率

表 1-1 ラミナの材質指標、ヤング係数、試験時含水率の平均値と変動係数

| 種類        | $\rho$<br>g/cm <sup>3</sup> | KGC<br>% | KGL<br>% | ARW<br>mm | Ef<br>×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> | MOE<br>×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> | MC<br>% |
|-----------|-----------------------------|----------|----------|-----------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|
| NJラミナ 平均値 | 0.385                       | 22.7     | 27.2     | 4.2       | 84.6                                       | 80.7                                        | 10.1    |
| 変動係数 (%)  | 10.1                        | 51.7     | 38.6     | 31.0      | 22.2                                       | 21.6                                        | 9.2     |
| FJラミナ 平均値 | 0.389                       | 26.1     | 30.7     | 4.2       | 83.2                                       | 78.9                                        | 10.1    |
| 変動係数 (%)  | 7.5                         | 50.5     | 36.9     | 27.7      | 22.4                                       | 22.6                                        | 7.2     |

$\rho$  : 密度、KGC:曲げ試験体は中央加力点間、引張試験体はグリップ間で評価した集中節径比、KGL:ラミナ全長で評価した集中節径比、ARW:年輪幅、Ef:縦振動ヤング係数、MOE:材料試験機により算出した曲げヤング係数、MC:含水率

表 1-2 スギラミナの曲げ及び引張試験結果

|        | NJラミナ |                            |        |                              | FJラミナ |                            |        |                              | 接合効率 %    |             |
|--------|-------|----------------------------|--------|------------------------------|-------|----------------------------|--------|------------------------------|-----------|-------------|
|        | 試験体数  | 平均値<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 変動係数 % | 5%下限値<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 試験体数  | 平均値<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 変動係数 % | 5%下限値<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 平均値<br>評価 | 5%下限値<br>評価 |
| MOR    | 100   | 444                        | 21.0   | 291                          | 99    | 345                        | 22.0   | 220                          | 77.7      | 75.6        |
| TS     | 100   | 262                        | 35.6   | 109                          | 100   | 226                        | 32.5   | 105                          | 86.3      | 96.3        |
| TS/MOR | -     | 0.59                       | -      | 0.37                         | -     | 0.66                       | -      | 0.48                         | -         | -           |

接合効率 = FJラミナの強さ/NJラミナの強さ×100 [%], 5%下限値 = 平均値 - 1.645×標準偏差,  
MOR: 曲げ強さ, TS: 引張り強さ, TS/MOR: MORに対するTSの比

ナの引張りで節が関係したと認められた破壊が32%あった。

### 1.3.2 ラミナの強度特性

NJラミナおよびFJラミナについて、 $\rho$ 、ARW、KGC、KGLの平均値と変動係数を表1-1に示した。表に示したように、 $\rho$ 及びARWはFJラミナとNJラミナとの間に差異はなく、KGCおよびKGLはFJラミナのほうが若干大きかった。通常FJラミナの製造では節等の欠点を避けてFJ加工がなされるため、節径比はFJラミナのほうが小さくなる傾向にある<sup>4)</sup>が、本試験の場合は全く機械的に製造しているため、FJラミナのKGCおよびKGLが小さくならなかったと考えられた。また、表に示すように両ラミナのMOEの平均値および変動係数の差はわずかであり、ラミナのサンプリングにおいてNJラミナ用、FJラミナ用

はほぼ同質のラミナで分けられたものと判断できる。また、両ラミナとも含水率の平均値は等しく、変動係数が10%以下であったので、強度値の含水率補正は行わなかった。

曲げ試験および引張り試験の結果を表1-2に示した。MORの平均値、変動係数はNJラミナで444kgf/cm<sup>2</sup>、21.6%、FJラミナで345kgf/cm<sup>2</sup>、22.0%であり、TSの平均値、変動係数はNJラミナで262kgf/cm<sup>2</sup>、35.6%、FJラミナで226kgf/cm<sup>2</sup>、32.5%であった。なお、表中にTS/MORについても示したが、これについては後述する。

ラミナの接合効率は表に示したようにMORの平均値で評価すると77.7%であり、TSのそれで評価すると86.3%であった。FJ部と関係したと判断される破壊の出現比率がTSよりもMORで

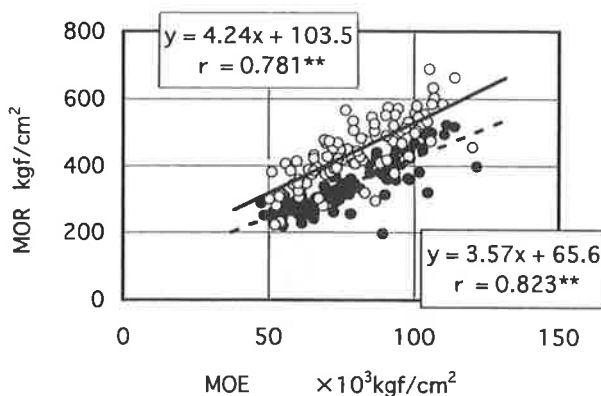


図 1-3 ラミナの曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強さ (MOR) との関係  
○: NJラミナ、●: FJラミナ

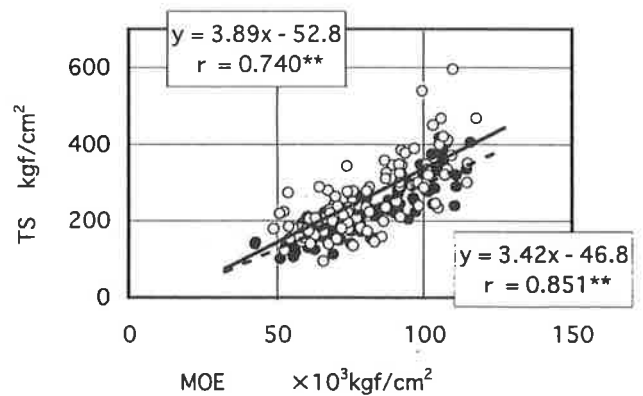


図 1-4 ラミナの曲げヤング係数 (MOE) と引張強さ (TS) との関係  
○: NJラミナ、●: FJラミナ

表 1-3 NJ ラミナの材質指標と曲げ強さ (MOR)、引張強さ (TS) 及び曲げヤング係数 (MOE) との関係を示す相関係数

|     | 試験体数 | $\rho$   | ARW        | KGC        | KGL        |
|-----|------|----------|------------|------------|------------|
| MOR | 100  | 0.324* * | - 0.680* * | - 0.412* * | - 0.428* * |
| TS  | 100  | 0.385* * | - 0.515* * | - 0.553* * | - 0.552* * |
| MOE | 200  | 0.620* * | - 0.746* * | - 0.328* * | - 0.362* * |

$\rho$  : 密度、KGC: 曲げ試験体は中央加力点間、引張試験体はグリップ間で評価した集中節径比、KGL: ラミナ全長で評価した集中節径比、ARW: 年輪幅、Ef: 縦振動ヤング係数、MOE: 材料試験機により算出した曲げヤング係数

表 1-4 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>に準拠したラミナの目視等級区分、機械等級区分の基準

| 目視等級区分 |                    |          | 機械等級区分 |                      |
|--------|--------------------|----------|--------|----------------------|
| 目視等級   | KGL %              | ARW mm   | 機械等級   | MOE                  |
| G 1    | KGL $\leq$ 20      | $\leq$ 6 | L 160  | 160 $\leq$ MOE       |
| G 2    | 20 < KGL $\leq$ 30 | $\leq$ 6 | L 140  | 140 $\leq$ MOE < 160 |
| G 3    | 30 < KGL $\leq$ 40 | -        | L 125  | 125 $\leq$ MOE < 140 |
| G 4    | 40 < KGL $\leq$ 50 | -        | L 110  | 110 $\leq$ MOE < 125 |
| G 5    | 50 < KGL           | -        | L 100  | 100 $\leq$ MOE < 110 |
| -      | -                  | -        | L 90   | 90 $\leq$ MOE < 100  |
| -      | -                  | -        | L 80   | 80 $\leq$ MOE < 90   |

KGL: ラミナ全長で評価した集中節径比、ARW: 年輪幅、MOE: 材料試験機で測定した曲げヤング係数

表 1-5 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している目視等級区分ラミナの MOE、MOR、および TS の基準強度

| 目視等級 | MOE $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> |       | MOR kgf/cm <sup>2</sup> |       | TS kgf/cm <sup>2</sup> |       |
|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|
|      | 平均値                                   | 5%下限値 | 平均値                     | 5%下限値 | 平均値                    | 5%下限値 |
| G 1  | 90                                    | 75    | 390                     | 295   | 235                    | 175   |
| G 2  | 80                                    | 65    | 360                     | 270   | 215                    | 160   |
| G 3  | 70                                    | 60    | 330                     | 250   | 200                    | 150   |

目視等級: 表 1-4 参照, MOE: 曲げヤング係数, MOR: 曲げ強さ, TS: 引張り強さ, 規格<sup>1)</sup>ではスギは樹種群 F に含まれ, その部分の抜粋である。

表 1-6 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している機械等級区分ラミナの MOR、および TS の基準強度

| 機械等級 <sup>1)</sup> | MOR kgf/cm <sup>2</sup> |       | TS kgf/cm <sup>2</sup> |       |
|--------------------|-------------------------|-------|------------------------|-------|
|                    | 平均値                     | 5%下限値 | 平均値                    | 5%下限値 |
| L 110              | 450                     | 340   | 265                    | 200   |
| L 100              | 420                     | 315   | 245                    | 185   |
| L 90               | 390                     | 295   | 235                    | 175   |
| L 80               | 360                     | 270   | 215                    | 160   |
| L 70               | 330                     | 250   | 200                    | 150   |

<sup>1)</sup> 機械等級: 表 1-4 参照, MOR; TS: 表 1 参照

多い傾向は 1.3.1 において述べたが、同一工程で製造された FJ ラミナの接合効率を、MOR で評価した場合と TS で評価した場合では異なることが明らかとなった。また、TS の変動係数は MOR の変動係数よりも大きく、NJ ラミナおよび FJ ラミナとも約 1.5 倍であった。

MOE と MOR との関係を図 1-3 に示した。MOE と MOR との関係は、NJ ラミナ、FJ ラミナそれぞれの相関係数 (以下  $r$  と記す) は、0.781\* \*、0.823\* \* で示され、FJ ラミナのほうに高い相関が認められた。なお、\* \* は相関係数が危険率 1% で

有意なことを示す。FJ ラミナの MOR はそのほとんどが NJ ラミナの回帰直線の下側に分布していた。

MOE と TS との関係を図 1-4 に示した。NJ ラミナの MOE と TS との関係は、 $r = 0.740* *$ 、FJ ラミナのそれは  $r = 0.851* *$  で示され、MOR と同様に FJ ラミナのほうに高い相関が認められた。FJ ラミナの TS は NJ ラミナのそれとほぼ同様な分布を示し、回帰直線の位置は両者で近かった。

以上の結果、FJ ラミナの性能は製造工程が影響するので一概には結論づけられないが、FJ ラ

ミナの強度性能は、TSで評価する場合とMORで評価する場合で異なることが示された。すなわち、TSで評価すると接合効率も高く、NJラミナとFJラミナではTSの分布およびMOEとの関係を示す回帰直線も相違が小さい。一方、MORで評価すると接合効率も低く、NJラミナとFJラミナではMORの分布およびMOEとの関係を示す回帰直線の傾きが異なり、両ラミナを同一に扱えないと考えられた。

### 1.3.3 材質指標、曲げヤング係数によるラミナの強度推定

ラミナの材質指標である $\rho$ 、ARW、KGC、KGLとMOR、TSおよびMOEとの関係はNJラミナだけで検討した。これらの関係を示す $r$ を表1-3に示した。 $\rho$ 、ARWのMORおよびTSに対する相関はMOEに対するよりも低かったが、ARWとの間に高い相関係数が得られた。なお、MOEとの相関は図1-3、図1-4の中に示した。

### 1.3.4 等級区分されたラミナの強度性能

ラミナの等級と強度性能との関係はNJラミナについてだけ検討した。

ラミナの目視等級区分は表1-4に示すように規格<sup>1)</sup>に準拠してKGL、ARWによって行ったが、そのためのKGLは表の脚注に示したように曲げ試験用のラミナはスパン間において評価し、引張り試験用のそれは全長で評価した。なお、規格では材縁の節径比、繊維傾斜等によっても区分されるが、ここでは単純にKGL、ARWの2者によって等級区分した。以下、ラミナの目視等級は等級の高いほうからG1、G2、G3、G4、G5と表す。なお、G5は規格では枠外等級である。ラミナの機械等級区分は規格<sup>1)</sup>に従い、表に示すようにMOEによって行った。

規格では目視等級の1~3等および機械等級のすべてに強度値の平均値（以下平均値基準と記す）と5%下限値を定めており、それらを表1-5、表1-6に示した。目視等級とラミナのMOE、MOR、およびTSとの関係、機械等級とMORおよびTSとの関係はそれらの基準との比較で検討した。統計的な5%下限値は平均値-1.645×標準偏差で計算した。また、5%下限値基準より低い強度値のラミナの出現比率でも検討した。

#### 1.3.4.1 目視等級区分されたラミナの強度性能

NJラミナのMOE、MORおよびTSの平均値と標準偏差の範囲を目視等級との対応で、図1-5に示した。なお、MOEについては曲げと引張り用NJラミナをあわせて検討した。また、平均

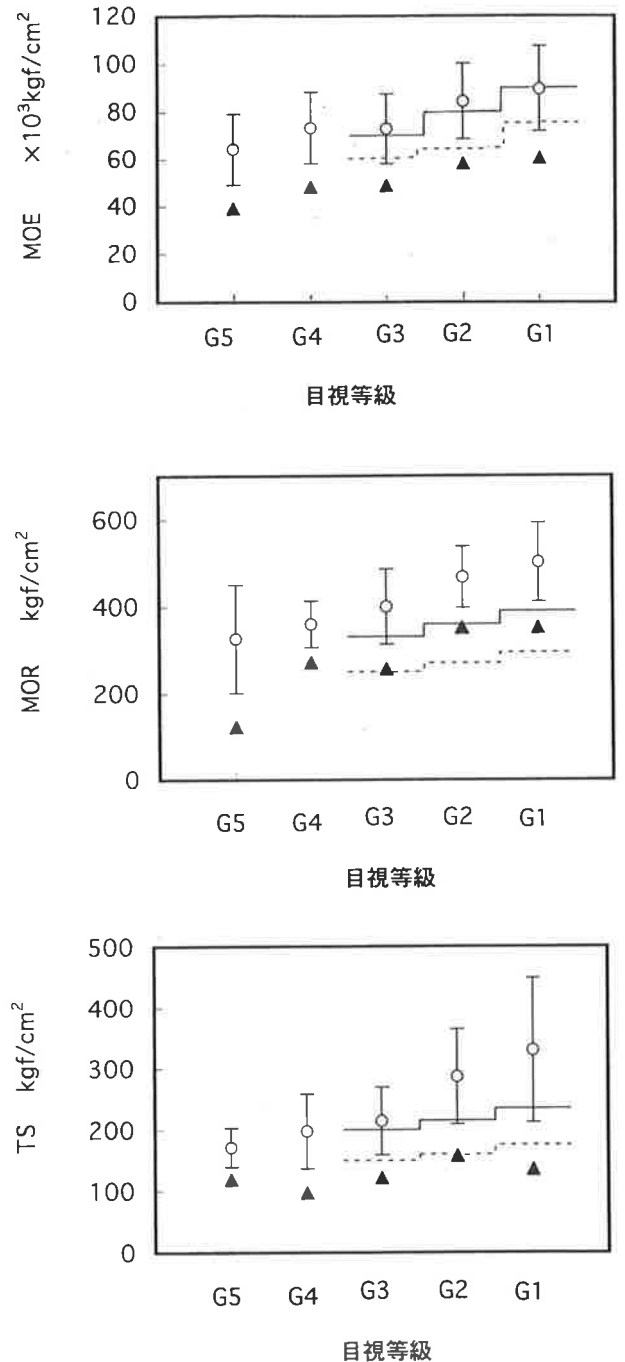


図1-5 目視等級区分されたNJラミナの曲げヤング係数(MOE)、曲げ強さ(MOR)、および引張り強さ(TS)の平均値と標準偏差

G1~G5: 表1-4参照、実線: 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している平均値、破線: 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している5%下限値、図中の範囲は±標準偏差を示す。○: 平均値、▲: 統計的5%下限値: 平均値-1.645×標準偏差

値基準と5%下限値基準を図中に示した。目視等級区分されたラミナのMOE、MOR、TSの平均値は、図に示すように三者ともすべての等級で要求されている平均値基準を満たし、MOR、TSは高位等級ほど基準との差が大きい傾向が認められた。

一方、5%下限値基準未達のMOEはG1~G3にランクされた175枚中27枚、比率で15.4%であった。同様に、MORでは88枚中2枚、2.2%、TSでは87枚中5枚、5.7%であった。これらの結果から、MORは5%下限値基準を満たし、TSでもほぼ満足するものと判断できた。一方、MOEはそれを満たすことが困難なことが示された。このことは図に示した統計的5%下限値からも推定できる。

#### 1.3.4.2 機械等級区分されたラミナの強度性能

機械等級に対応させてNJラミナのMOR、TSの平均値と標準偏差の範囲、および平均値基準と5%下限値基準を図1-6に示した。平均値では、MOR、TSともすべての機械等級で、平均値基準以上であり、上位等級ほどその差が大きくなる傾向にあった。次に、5%下限値基準未達だったラミナの出現はMORで全くなく、TSでは3試験体、3%であった。これらの結果は図中の統計的下限值にも表れており、機械等級区分だけでMORは5%下限値基準を満たし、TSにおいてもほぼ基準を満たすと判断できる。

本試験と同様な手法で行われたカラマツラミナの試験<sup>9)</sup>において、TSが5%下限値基準を満たすのは困難なことが報告されているが、スギラミナでは規格をほぼ満足できる可能性が示唆された。その理由として、次項で述べるようにスギラミナはTSの変動係数がカラマツより小さい上、TS/MORがカラマツより大きいためと考えられた。

#### 1.3.4.3 ラミナの等級と曲げ強さおよび引張り強さの変動係数との関係

ラミナの等級区分の結果のひとつとして強度性能の変動係数が減少することが考えられる。そこで、NJラミナの等級内のMORおよびTSの変動係数に検討を加えた。なお、1.1で述べたように規格<sup>1)</sup>が要求している平均値基準と5%下限値基準との関係はMOR、TSの変動係数が等級内でそれぞれ15%のとき当てはまる。

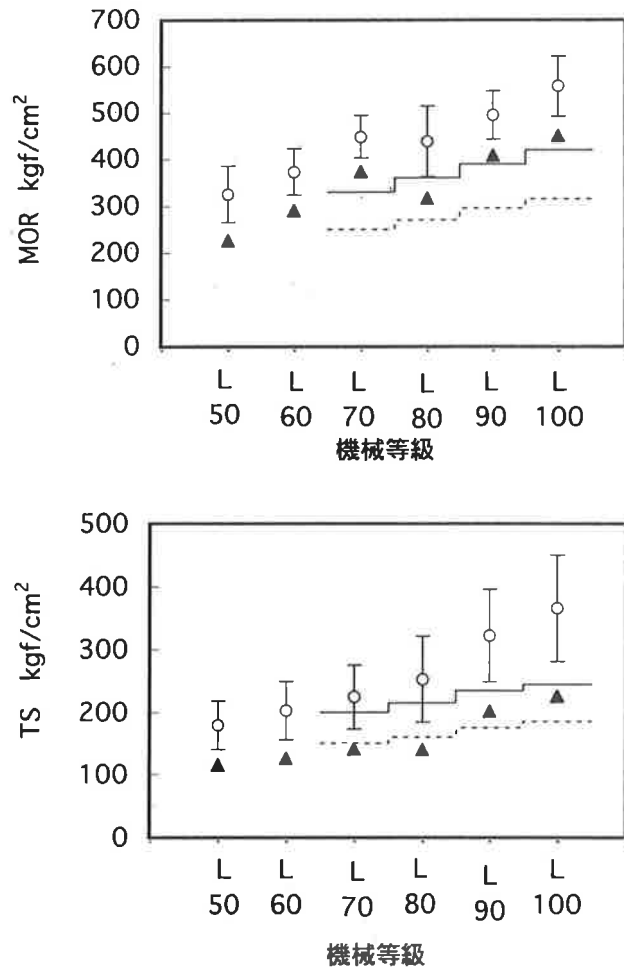


図1-6 機械等級区分したNJラミナの曲げ強さ (MOR) および引張り強さ (TS) の平均値と標準偏差  
L50~L100: 表1-6 参照、実線: 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している平均値、破線: 構造用集成材の日本農林規格<sup>1)</sup>が要求している5%下限値、○: 平均値、▲: 統計的5%下限値: 平均値-1.645×標準偏差  
図中の範囲は±標準偏差を示す。

NJラミナの目視等級、機械等級に対応させてMORおよびTSの変動係数を図1-7に示した。等級区分されたNJラミナのMORの変動係数の平均値は目視等級区分で17.4% (14.8~18.1%)、機械等級区分で13.6% (10.2~18.6%)であった。同様にTSのそれは目視等級区分で29.9% (25.9~35.8%)、機械等級区分で23.5% (21.5~27.3%)であった。

変動係数の平均値が規格<sup>1)</sup>で想定している15%よりも小さかったのは機械等級区分のMORだけであったが、目視等級区分のMORの変動係数の平均値も17.4%と15%に比較的近かった。一方、TSの変動係数はMORに比較して大きかったが、カラマツで報告されている値よりは小さかった。

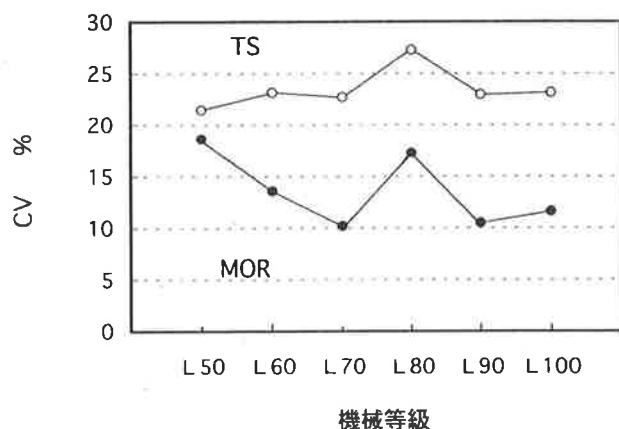
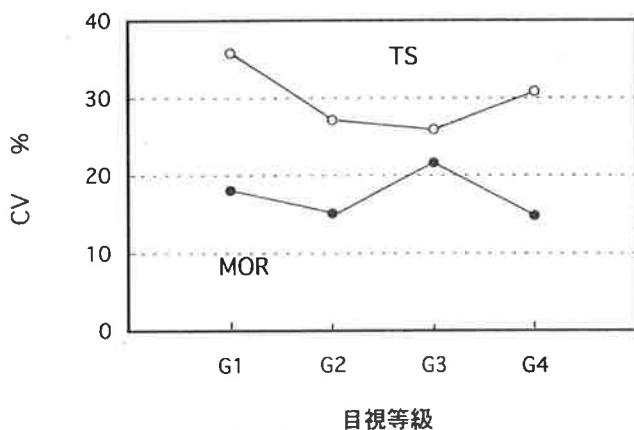


図1-7 目視等級区分、機械等級区分したNJラミナの曲げ強さ (MOR)、引張り強さ (TS) の変動係数 (CV)  
○ : 引張り強さ、△ : 曲げ強さ、G1~G4 ; 表1-5 参照、L50~L60 : 表1-6 参照

NJラミナ全体の変動係数は表1-2に示したようにMORで21.0%、TSで35.6%であった。等級区分されたラミナの変動係数の平均値と全体の変動係数の比率は、MORについては目視等級区分で0.83、機械等級区分で0.65であり、TSについては目視等級区分で0.84、機械等級区分で0.66であった。したがって、ラミナの等級区分によってMOR、TSの変動係数が小さくなる比率は全体の変動係数に対して目視等級区分では16%程度、機械等級区分でも35%程度であった。これらはカラマツについて報告されている数値、それぞれ15%、25%よりは大きく、等級区分によって変動係数を小さくする効果はカラマツよりもスギのほうが大きい可能性が示された。

#### 1.3.4.4 等級区分されたラミナの曲げ強さに対する引張り強さの比 (TS/MOR)

TS/MORは表1-2に示したように平均値で、

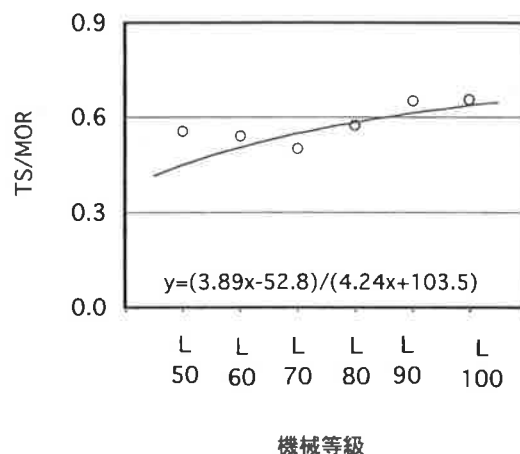
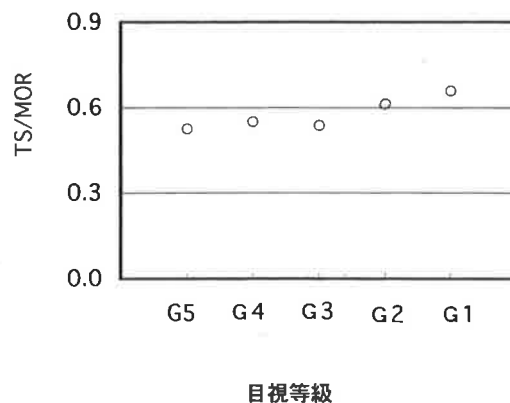


図1-8 NJラミナのTS/MORの等級依存性  
機械等級の図中の曲線は  $TS/MOR = (MOE \text{ に対する } TS \text{ の回帰式}) / (MOE \text{ に対する } MOR \text{ の回帰式})$  で計算した曲線を示す

NJラミナ、FJラミナそれぞれ0.59、0.66であった。NJラミナのTS/MORは規格1)で求めている0.6にほぼ等しく、カラマツの0.54<sup>4)</sup>、スプルースの0.52<sup>5)</sup>よりも大きかった。

NJラミナのTS/MORを目視および機械等級に対応させて図1-8に示した。両ラミナとも等級が高いほどTS/MORが大きくなる傾向が認められた。なお、図中に図1-3、図1-4に示した回帰直線を使い  $TS/MOR = (MOE \text{ に対する } TS \text{ の回帰式}) / (同様に MOR \text{ の回帰式})$  で計算した曲線を示した。この曲線がTS/MORの機械等級依存性を示すのは当然の結果であるが、単独に行われたラミナの曲げ試験、引張り試験の結果であってもMOEとMORの回帰式およびMOEとTSの回帰式を使ってTS/MORの機械等級依存性を明らかにできる。



#### 1.4 要旨

NJラミナおよび同一工程で製造したFJラミナの曲げ試験および引張り試験の結果から、FJラミナの強度特性をNJラミナとの比較で検討した。つぎに、等級区分したラミナのTSおよびMORと規格<sup>1)</sup>における基準値との関係を検討し、ラミナの等級とTSおよびMORの変動係数との関係、および等級とTS/MORとの関係を明らかにした。

FJラミナの性能は製造工程が影響するので一概に結論づけることはできないが、FJラミナとNJラミナの強度性能をMORで比較した場合と、TSで比較した場合とでは異なった。すなわち、接合部が関係したと認められた破壊の出現比率は引張り試験よりも曲げ試験で大きく、MORの平均値で計算した接合効率は77.7%であり、TSで計算したそれは86.3%と約9%の相違が認められた。また、MOEとTSとの関係を示す回帰直線は、NJラミナとFJラミナでは位置および傾きの差異は比較的少なかったが、MOEとMORとの関係を示す回帰直線は両ラミナで差異が認められた。

NJラミナにおいてMOEとMORとの関係は $r = 0.781^{**}$ 、MOEとTSとの関係は $r = 0.740^{**}$ で示され、単独の強度推定因子としてはMOEが有効であることが示された。

NJラミナの等級内のMORの変動係数の平均値は目視等級区分、機械等級区分で17.4%、13.6%、同様にTSのそれは目視等級区分、機械等級区分で29.9%、23.5%と、特にTSにおいて大きかったがカラマツラミナのそれら<sup>4)</sup>よりは小さかった。

ラミナを等級区分することによってMOR、TSの変動係数が減少する比率は、全体の変動係数に対して目視等級区分で16%程度、機械等級区分で35%程度であった。

NJラミナのTS/MORは平均で0.59であり、規格<sup>1)</sup>が前提としている0.6とほぼ同じであった。また、等級の高いラミナほどその比が大きな傾向が認められた。

規格<sup>1)</sup>による評価では等級区分されたNJラミナのMORの平均値及び5%下限値、TSの平均値は基準を満たした。また、TSの5%下限値以

下のラミナがL70で1枚、L80で2枚出現したが出現比率は3%であり、これもほぼ規格に合格すると判断できた。

また、この出現比率はカラマツラミナ<sup>4)</sup>で報告されているそれよりはるかに小さく、それはTSの変動係数がカラマツより小さい上、TS/MORがカラマツより大きいためと考えられた。

#### 文献

- 1) 農林水産省告示第111号(1996): 構造用製材の日本農林規格
- 2) 日本合板検査会(1996): 構造用製材の適正製造基準 1-66
- 3) たとえば、林知行ほか4名(1995): 低質ベイマツラミナの曲げ・引張強度特性、木材学会誌、41(1)、103-109
- 4) 橋爪丈夫、吉田孝久、武田孝志、石原茂久(1998): カラマツラミナの性質と集成材の強度性能(第4報)ーラミナの曲げ・引張強度特性、木材学会誌、44(1)、49-58
- 5) 武田孝志、門脇太郎(1998): スプルースラミナの曲げ強度と引張強度、木材工業、53(3)、120-124
- 6) 小松幸平(1991) 木構造設計資料MT-2、日本住宅・木材技術センター、1-10
- 7) 平嶋義彦、山本幸雄、鈴木滋彦(1994): 集成材の強度計算モデルおよび確率モデル、木材学会誌、40(11)、1172-1179

**キーワード:** 引張強さ (TS)、曲げ強さ (MOR)、スギラミナ、TS/MOR、等級区分

## 2 フィンガージョイント (F J) ラミナの強度性能の改善

### —フィンガー形状の改良およびF J分散幅はぎラミナの検討—

柴田直明、伊東嘉文、橋爪丈夫

#### 2.1 緒言

集成材は、エンジニアリングウッドを代表する優れた材料である。しかし、曲げ荷重下では引張側ラミナの節やフィンガージョイント (F J) 部が欠点となりやすい。

そこで、従来からこれらの欠点を分散させて強度性能の向上を図ることを目的に、幅はぎラミナの研究等が進められてきた<sup>1)~3)</sup>。

本報では、これらの成果を踏まえ、カラマツ中径木から得られたラミナを用いて、次の2点について実大サイズでの試験を実施した<sup>4)~6)</sup>。

##### ① フィンガー形状の改良

F Jにおいては、フィンガーの先端と底部がバットジョイントとなる。そこで、これらの部分の幅を狭くして、F J幅 (ラミナ幅) 全体に占めるバットジョイント幅の比率を減少させることを試み、継ぎ手効率の改善効果を検討した。

##### ② F J分散幅はぎラミナの検討

あらかじめF J部を分散させた同一等級構成集成材を作製した後、接着層に対して垂直に挽き割ることによってF J分散幅はぎラミナ (F J分散ラミナ) を得て (図2-1、下)、強度性能の改善効果を検討した。

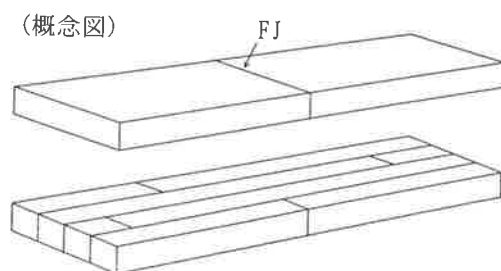


図2-1 通常のFJラミナとFJ分散ラミナ

なお、本研究は(財)日本住宅・木材技術センターが平成10年度に実施した「エンジニアリングウッド性能評価事業」の中において、同センターと長野県林業総合センターの共同研究として行われたものである。

#### 2.2 研究の方法

##### 2.2.1 試験体の作製

本試験では集成材の最外層および外層ラミナを想定し、カラマツ中径木から得られたL110のラミナのみを用いて、次の各試験体を作製した。

なお、これらのラミナの区分は連続測定式グレーディングマシンによって行った。また、L110のラミナとは $110 \leq$ 曲げヤング係数の平均値 $< 125$  ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ) であるものを指す。

##### 2.2.1.1 コントロール《略称：通しラミナ》

コントロールは通しラミナとし、表2-1の寸法に仕上げた。

通しラミナのNo.は、試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順に1、2、3、…と付けた。曲げおよび引張試験の試験体数は、それぞれの結果の項 (表2-3、5) に示した。

表2-1 試験体の仕上げ寸法 (全試験体共通)

| 試験体の種類 | 幅(mm) | 厚(mm) | 長さ(mm)     |
|--------|-------|-------|------------|
| 曲げ試験体  | 149   | 20    | 約500       |
| 引張試験体  | 149   | 20    | 約1300~1500 |

##### 2.2.1.2 フィンガー形状を改良したF Jラミナ 《略称：F Jラミナ》

F Jラミナは、ラミナの中央に通常のF J部を設けた (図2-1、上)。

フィンガー形状は、兼房(株)の改良型カッターを用い、表2-2のようにした。仕上げ寸法は、表2-1に従った。

なお、F Jラミナの作製に際しては試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順にペアを組み、原則として木表・木裏をそろえてF Jを行った。

また、F JラミナのNo.も、通しラミナの場合と同様、試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順に1、2、3、…と付けた。曲げおよび引張試験の試験体数は、それぞれの結果の項 (表2-3、5) に示した。